



TITLE:

4 導体送電線のギャロッピング現象の解明と制振対策に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

松宮, 央登

CITATION:

松宮, 央登. 4 導体送電線のギャロッピング現象の解明と制振対策に関する研究. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19690>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2018-07-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	松宮 央 登
論文題目	4 導体送電線のギャロッピング現象の解明と制振対策に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>送電設備は、電力を安定に供給するためにその機能と健全性を維持することが必要となる。特に、厳しい自然環境に晒される架空送電線では、自然災害による被害を低減・防止することが極めて重要な課題である。冬季に生じる被害として、電線に雪や氷が付着し、そこに風が作用することで送電線が大きく振動する「ギャロッピング」が原因となるものがある。その応答振幅が大きくなると、他の電線や樹木などと接近することによる電気事故や、鉄塔の支持物などの疲労損傷につながる可能性があり、合理的かつ効果的なギャロッピング対策を実施するために、発生頻度が高い地点の特定や有効な対策方法の確立が必要とされてきた。</p> <p>本論文では、国内において設備量に対する事故発生率が高く、その送電容量の大きさから事故発生時に社会に与える影響が大きい「4 導体送電線」を対象に、ギャロッピングの発生条件および応答振幅特性の解明を行っている。また、4 導体送電線のギャロッピング対策品として国内で普及されつつある「ルーズスパーサ」を対象に、対策品の効果発現メカニズムの解明および適切な取り付け方法の提案を行っている。本論文は全 9 章で構成されており、以下に各章の実施内容および主な成果を示す。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的を述べ、既往の研究をレビューすることにより、ギャロッピングの応答特性や対策品の効果発現メカニズムの解明に適した研究手法として、部分模型を用いた風洞実験や 1 質点系を対象とした応答解析に基づいた、2 次元系における理論的検討を本論文での主軸とすることを述べている。</p> <p>第 2 章では、実規模試験線における自然着氷下での観測により、送電線のギャロッピングは大振幅・低振動数の鉛直・水平・ねじれ 3 自由度振動であること、ルーズスパーサ設置相では無対策相に比べてギャロッピングが抑制されることを確認している。また、着氷形状が同じ条件下では、送電線のギャロッピングが発生する電線ねじれ角が限定され、風速に伴い電線ねじれ角が増加することによりギャロッピングが発生する風速も限定されることを示している。</p> <p>第 3 章では、着氷雪高さおよび着氷雪先端形状、風速・流入風の乱れなどをパラメータとして、単導体電線および 4 導体電線の空気力係数を風洞実験により測定し、空気力における各因子の影響を示している。また、数値流体解析結果も参考にしながら、模型表面の圧力測定実験結果に基づいて断面周りの流れ場を推定し、空気力にそれぞれの変化が生じる要因を明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、風速・振動数（比）・着氷雪形状・迎角などをパラメータとして、実送電線と等価なギャロッピングを再現した風応答測定実験を実施するために、大振幅・低振動数の 3 自由度振動を可能にする部分模型の新しい弾性支持方法を開発している。さらに、実験結果の詳細な分析や応答解析結果との比較を行う上で必要となる、部分模型の非線形運動方程式を併せて導出している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	松宮 央 登
<p>第 5 章では、第 4 章で示した風応答測定実験結果および、実験を再現した時刻歴応答解析結果を用いて、4 導体電線のギャロッピングへの準定常空気力モデルの適用性を評価している。その結果、大振幅のギャロッピングを精度よく再現するためには、準定常空気力を 4 導体電線全体で定式化する従来の方法ではなく、準定常空気力を素導体毎に定式化する必要があることを示し、その違いはねじれ速度に応じた空気力が考慮できる点に起因することを明らかにしている。</p> <p>第 6 章では、ギャロッピングの発生要因および応答が大きくなる要因を特定するために、第 3 章で計測した空気力係数および第 5 章で示した空気力モデルを用いて、着氷雪形状、迎角、自由度、振動数比をパラメータとして、1 質点系を対象とした線形不安定解析および時刻歴応答解析を実施している。その結果、空気力の非線形性に起因した非線形振動特性および鉛直・水平・ねじれ 3 自由度間の空力連成特性を明らかにしている。</p> <p>第 7 章では、ルーズスパーサの回転機構を模擬した 4 導体電線部分モデルを用いて、第 4 章で示した風応答測定実験および、空気力測定実験を実施して、ルーズスパーサのギャロッピング抑制メカニズムを解明している。また、ルーズ把持部の位置や着氷雪に対する風向を変えた実験を行い、①着氷雪が生じる風向が決まっている地域、②いずれの風向からでも着氷雪が生じる地域、③着氷雪後に風向が反転しやすい地域、でのルーズ把持部の配置が異なるそれぞれのルーズスパーサの適用性を示している。</p> <p>第 8 章では、実送電線を対象としたモード重ね合わせ法を用いた線形不安定解析、非線形時刻歴応答解析結果に基づき、実送電線における着氷雪形状・迎角、風速、応答変位などの 3 次元的な分布や実送電線特有の構造特性がギャロッピング応答に与える影響を評価している。また、それらを考慮して、実送電線におけるギャロッピング応答特性を解明するための検討の方向性および課題を示している。</p> <p>第 9 章は結論であり、本論文の成果を総括し、今後の課題とともに取りまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、4 導体送電線で冬季に雪や氷が付着して発生するギャロッピングと呼ばれる空力振動現象に対して、その発生条件および応答振幅特性を解明するとともに、制振対策であるルーズスパーサの効果発現メカニズムの解明および適切な取り付け方法の提案を目的としたものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. 実規模試験線での観測により、実送電線では風速に伴い電線ねじれ角が増加して、着氷雪と風の迎角がある範囲に達してギャロッピングが発生することを示した。
2. 風洞実験により、着氷雪の形状・迎角、流入風の風速・乱れなどの各因子および 4 導体電線における導体間の流れの干渉が着氷雪電線に作用する空気力へ与える影響を示し、その要因を明らかにした。
3. 実送電線と等価な大振幅・低振動数のギャロッピングを再現する風洞実験方法を開発した。その実験結果に基づき、4 導体送電線のギャロッピング応答解析では、無次元ねじれ速度に依存する空気力を考慮する必要があるとあり、それが素導体毎に準定常空気力を定式化することで精度よく表現できることを明らかにした。
4. 上記空気力モデルを用いた応答解析により、鉛直・水平・ねじれ 3 自由度系における応答特性は、平均ねじれ角の範囲に応じて、鉛直・水平 2 自由度の連成振動、鉛直・ねじれ 2 自由度の連成振動、鉛直 1 自由度の振動、が支配的な範囲に分けられることを示し、その要因を空気力のエネルギー収支および相対迎角・相対風速の観点から解明した。また、鉛直 1 自由度系での空気力の非線形性に起因する定常応答振幅および応答の初期変位依存性の評価式を示した。
5. ルーズスパーサ設置径間を対象とした風洞実験により、ルーズ把持された導体が回転して 4 導体電線全体の励振力が小さくなることに加えて、4 導体電線全体の空力モーメントによりギャロッピングが発生する迎角範囲に達し難いことが、その抑制効果として重要であることを明らかにした。そのメカニズムを踏まえて、設置地域の風向特性に応じた効果的なルーズスパーサの設置方法を提案した。
6. 実送電線全体の応答特性の把握を試みるにあたり、応答振幅の径間内分布は各自自由度の低次モードの足し合わせにより容易に把握できること、実送電線の構造モードは本質的には面内振動・面外振動に分けて評価できることを示した。

以上より本論文は、送電線におけるギャロッピングの発生要因とその制振対策法を示しており、学術上、実務上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 2 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日：2016 年 3 月 23 日以降